

УДК 510.6: 683.3: 532.5.13

А.Н. Голованов, В.Н. Фатеев**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ
УСИЛЕНИЯ УДАРНЫХ ВОЛН**

Экспериментально исследовано взаимодействие ударных волн с твердыми частицами. Проведен полный двухфакторный эксперимент по влиянию массы твердых частиц и их месторасположения перед фронтом ударной волны. Решена оптимизационная задача по интенсификации ударной волны.

Ключевые слова: ударная волна, твердые частицы, эксперимент, интенсификация.

В настоящее время существует множество способов борьбы с лесными пожарами [1]. Все эти способы с точки зрения механизма воздействия на лесной пожар можно разделить на три группы:

- 1) физико-механические способы локализации и тушения;
- 2) химические способы;
- 3) локализация и тушение с использованием ударных волн (УВ).

Как показали экспериментальные и теоретические исследования, фронт низового пожара имеет сложную структуру, включающую в себя зоны прогрева, сушки и пиролиза лесных горючих материалов (ЛГМ), горения горючих газообразных продуктов пиролиза и догорания конденсированных продуктов [1]. Процессы горения лимитируются притоком кислорода и горючих газообразных продуктов пиролиза, то есть носят диффузионный характер. Распространение фронта лесного пожара – многостадийный процесс, но ограничивает его в основном образование горючих газообразных продуктов пиролиза, их смешение с кислородом воздуха и последующее сгорание. Если разрушить структуру фронта пожара, то, как показали эксперименты, распространение его прекратится. Действительно, в этой части фронта находится взрывоопасная смесь, поэтому достаточно небольшого импульса давления, чтобы эта смесь сдетонировала и пламенное горение прекратилось. Кроме этого, механическое воздействие ударной волны от взрыва приводит к срыву основных элементов ЛГМ, что также приводит к прекращению распространения низового лесного пожара.

Применение на практике пожаротушения методов ударно-волнового воздействия требует создания безопасных, надежных и компактных устройств, позволяющих эффективно бороться с фронтом пожара [1].

Одним из путей решения этой проблемы служит повышение интенсивности генерируемых ударных волн. В данной работе предложен способ, основанный на повышении полноты сгорания порохового заряда.

Поставленная задача решена с помощью создания местного сопротивления на некотором расстоянии от отверстия газоотводной трубы путем использования заслона из твердых частиц. Упомянутый заслон представляет собой, например, легкоразрываемый пакет с твердыми частицами, закрепленный во внутреннем объеме цилиндрической газоотводной трубы на некотором расстоянии от выходного отверстия.

При создании в стволе ударной трубы заслона из твердых частиц между местом закладки пакета с твердыми частицами и местом разрыва монтажного патрона образуется область повышенного давления, вследствие чего увеличивается скорость горения частиц пороха, полнота их сгорания и как результат увеличивается интенсивность ударной волны.

Предложенный метод повышения интенсивности ударных волн требует соответствующего научного обоснования, поэтому в лабораторных условиях было проведено экспериментальное исследование по влиянию заслона из твердых частиц на повышение интенсивности ударных волн.

Экспериментальная установка и методика проведения эксперимента

Для проведения исследований влияния твердых частиц на интенсивность ударных волн была разработана и создана экспериментальная установка, схема которой представлена на рис. 1. Установка выполнена в виде металлической цилиндрической трубы с насадком-концентратором в виде конического конфузора с углом сужения $\varphi = 55^\circ$ и диаметром выходного отверстия $d_1 = 20$ мм.

В качестве твердых частиц использовался песок, вид частиц которого показан на рис. 2.

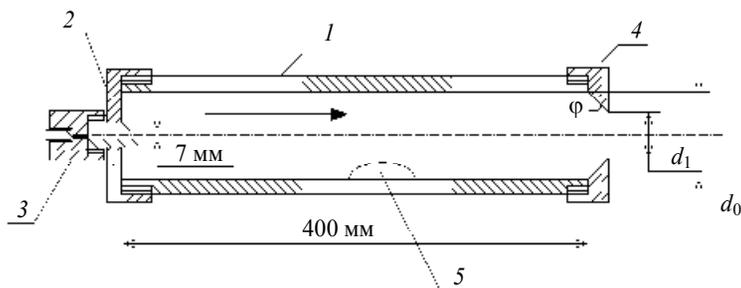


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: 1 – цилиндрическая труба; 2 – крышка; 3 – механизм для инициирования ударных волн; 4 – конфузорный насадок; 5 – заслон из твердых частиц

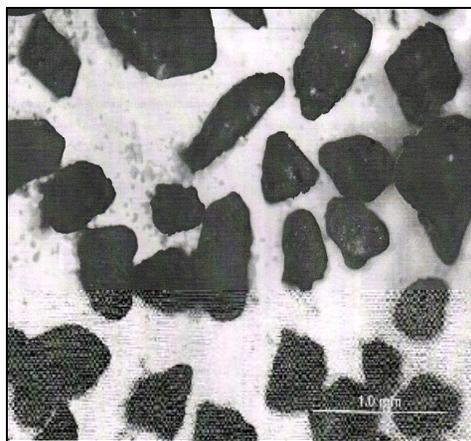


Рис. 2. Фотография частиц песка (SiO_2).
Предельное увеличение микроскопа OLYMPUS GX-71

На рис. 3 показана функция распределения твердых частиц, из которого видно, что размер частиц лежит в диапазоне 150 – 700 мкм, причем основную массу составляют частицы размером около 400 мкм.

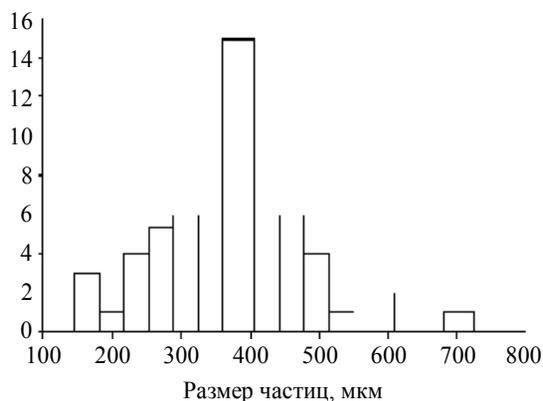


Рис. 3. Функция распределения для твердых частиц (SiO_2)

Ударные волны инициировались с помощью монтажных патронов шифра ДЗ [2], характеристики которых приведены в таблице.

Характеристики беспульных монтажных патронов.

Номер патрона	Мощность заряда	Цвет заряда	Патрон шифра Д			Патрон шифра К		
			Обозначение	Масса заряда, г	Энергия заряда, Дж	Обозначение	Масса заряда, г	Энергия заряда, Дж
1	Слабая	Белый	Д1	0,32	374	К1	0,20	548
2	Средняя	Желтый	Д2	0,34	928	К2	0,22	603
3	Сильная	Синий	Д3	0,38	1037	К3	0,25	683
4	Оч. сильная	Красный	Д4	0,43	1174	К4	0,29	795

Для получения количественной информации об интенсивности ударных волн, распространяющихся в ударной трубе и на выходе из нее, использовались пьезоэлектрические датчики давления типа ЛХ-610 [3]. Для датчиков данного типа статическая погрешность не превышает 2 %, а динамическая – 3 %. Суммарная погрешность определения давления не превышала $\delta P \leq 5$ %. Для регистрации сигналов использовался цифровой запоминающий осциллограф Tektronix TDS-1002.

В процессе проведения экспериментов рассматривался вопрос о роли твердых частиц в усилении ударных волн. В лабораторных условиях были проведены комплексные исследования количественных характеристик ударных волн.

Основные результаты и их анализ

Проводился полный двухфакторный эксперимент, при котором варьировались масса твердых частиц и расстояние их расположения, которое отсчитывалось от выходного сечения ударной трубы. Диапазон изменения суммарной массы частиц был выбран от 3 до 10 г, меньшее количество не давало требуемого эффекта, а большее, из-за большого объема частиц, который гасил ударную волну, также не давало положительного результата.

На рис. 4. представлен график экспериментальных значений относительного давления на выходе из ударной трубы, полученных в результате варьирования расстояния расположения пакета с твердыми частицами от выходного сечения трубы (P_1 – давление во фронте ударной волны на выходе из трубы без использования заслона из твердых частиц, P_2 – давление во фронте ударной волны на выходе из трубы с использованием заслона из твердых частиц).

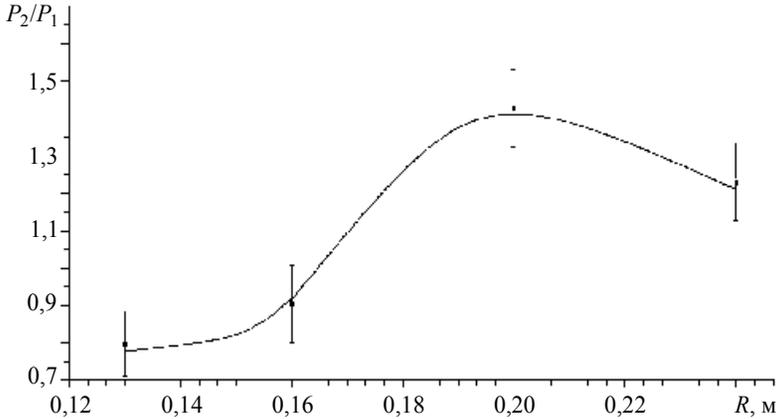


Рис. 4. Относительное давление газа на выходе из трубы, полученное в результате варьирования месторасположения твердых частиц в полости трубы. R – расстояние от выходного отверстия

На рис. 5. представлен график экспериментальных значений относительного давления на выходе из ударной трубы, полученных в результате варьирования рабочей массы твердых частиц (P_1 – давление во фронте ударной волны на выходе из трубы без использования заслона из твердых частиц, P_2 – давление во фронте ударной волны на выходе из трубы с использованием заслона из твердых частиц, заключенных в легкоразрываемый пакет).

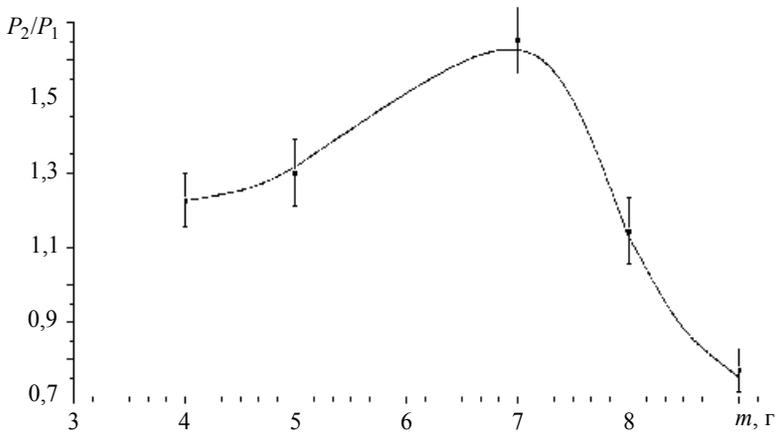


Рис. 5. Относительное давление газа на выходе из трубы, полученное при варьировании рабочей массы твердых частиц

Кривые на рис. 4, 5 – В-сплайн, аппроксимация. Доверительные интервалы рассчитывались по трём-пяти опытам, с доверительной вероятностью 0,95.

Из анализа графиков (рис. 4, 5) видно, что при варьировании расстояния закладки твердых частиц, при постоянной массе пакета, оптимальный результат увеличения интенсивности ударной волны составил порядка 35 % при расстоянии закладки около 0,2 м. При варьировании массы твердых частиц на оптимальном расстоянии их расположения наибольшая интенсификация ударной волны составляет порядка 60 % при массе твердых частиц около 7 г. Таким образом, оптимальные значения параметров, при которых наблюдается наибольшая интенсификация ударной волны (62,5 %), составляют для месторасположения пакета твердых частиц 0,2 м, т.е. не более 0,5 длины от выхода газоотводной трубы, и 7 г для суммарной массы твердых частиц.

Заключение

Таким образом, согласно предлагаемому техническому решению, при создании в стволе ударной трубы местного сопротивления, функцию которого выполняет заслон из твердых частиц, увеличивается интенсивность ударной волны, так как образованная в результате взрыва монтажного патрона область повышенного давления между местом взрыва патрона и местом закладки частиц увеличивает скорость горения пороха и полноту его сгорания. По результатам проведенных исследований получен патент на полезную модель [5].

ЛИТЕРАТУРА

1. *Гришин А.М.* Математическое моделирование лесных пожаров и новые способы борьбы с ними. Новосибирск: Наука, 1992. 408 с.
2. *Кобылкин И.Ф.* Ударные и детонационные волны. Методы исследования. М.: Изд-во физ.-мат. лит., 2004. 375 с.
3. *Черный Г.Г.* Газовая динамика. М: Наука, 1988. 424 с.
4. *Киселев В.П. и др.* Ударно-волновые процессы в двухкомпонентных и двухфазных средах. Новосибирск: Наука, 1992. 261 с.
5. *Голованов А.Н., Фатеев В.Н., Ивандаев И.Е.* Устройство для локализации и тушения низовых лесных пожаров. Патент на полезную модель № 100910 от 10.01.2011 г.

Статья принята 17.02.2011 г.

Golovanov A.N., Fateev V.N. EXPERIMENTAL RESEARCH OF SHOCK WAVE INTENSIFICATION PROCESS. Interaction of shock waves with solid particles is experimentally investigated. A full two-factorial experiment on the influence of the weight of solid particles and their positions before the shock wave front is performed. The optimizing problem of shock wave intensification is solved.

Keywords: shock wave, solid particles, experiment, intensification.

GOLOVANOV Aleksandr Nikolaevich (Tomsk State University)

E-mail: fire@mail.tsu.ru

FATEYEV Vladimir Nikolaevich (Tomsk State University)

E-mail: vladimir_fateyev@mail.ru